Aus der Medizinischen Universitäts-Poliklinik Würzburg
Direktor: Professor Dr. H. Franke

DIE BESTIMMUNG DES AORTENWURZELDURCHMESSERS MITTELS ECHOKARDIOGRAPHIE UND ANGIOKARDIOGRAPHIE UNTERSUCHUNGEN ZUR KORRELATION

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Wojciech Wojtyna
aus Kraków /Polen

Würzburg, den 2. Februar 1981

Aus der Medizinischen Universitäts-Poliklinik Würzburg
Direktor: Professor Dr. H. Franke

DIE BESTIMMUNG DES AORTENWURZELDURCHMESSERS MITTELS ECHOKARDIOGRAPHIE UND ANGIOKARDIOGRAPHIE UNTERSUCHUNGEN ZUR KORRELATION

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
vorgelegt von

Wojciech Wojtyna
aus Kraków /Polen

Würzburg, den 2. Februar 1981

Referent:	Professor Dr. med. J. Walter
Korreferent:	Professor Dr. med. H. Franke
Dekan:	Professor Dr. med. K.H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Februar 1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

Meinen Eltern gewidmet

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
Einleitung	1
Fragestellung	2
Geschichte der Echokardiographie	3
Physik des Ultraschalls	6
Technische Verfahren	7
Literaturübersicht	9
Patientengut und Methodik	13
Ergebnisse	16
Diskussion	
a) Methodische Probleme	23
b) Ergebnisse	25
Zusammenfassung	29
Literaturverzeichnis	30

EINLEITUNG

Die Echokardiographie hat unter den kardiologischen Diagnostikmethoden inzwischen einen festen Platz gefunden. Es gibt zur Zeit kein anderes nicht invasives Verfahren, mit dem die Bewegungen der verschiedenen Herzstrukturen, einschließlich der Klappen, sowie die Dimensionen der Herzwände und -höhlen beobachtet und gemessen werden können.

Die echokardiographische Untersuchung ist einfach, risikolos, jederzeit wiederholbar, und sie belastet den Patienten nicht. Sie kann auch bei Schwerkranken und am Krankenbett ausgeführt werden. Ein fortgeschrittenes Lungenemphysem,eine Adipositas oder gravierende Thoraxdeformitäten können die echokardiographische Untersuchung erschweren, bzw. eine Aussage unmöglich machen. Trotzdem sind befriedigende Resultate bei der Mehrzahl der erwachsenen Patienten zu erhalten.

Die Darstellung der Aortenwurzel, sowie der Aortenklappen ist ein wichtiger Bestandteil jeder echokardiographischen Untersuchung. Beim M-mode-Verfahren ist die parallele Bewegung der beiden Aortenwände so charakteristisch, daß sie als Orientierungspunkt zum Aufsuchen der anderen Herzstrukturen, besonders bei älteren Patienten (30) gelten kann. Obwohl die quantitative Beurteilung der Aortenvitien mit der M-mode-Darstellung von vielen Autoren in Frage gestellt wird (11,30), scheint doch die Bestimmung des Aortenwurzeldurchmessers ein relativ einfacher, leicht zugänglicher und genauer Parameter zu sein.

Die nicht-invasive Darstellung dieses Parameters könnte praktische Anwendung finden, so bei der Koronarangiographie zur Wahl der richtigen Kathetergröße. Ein solches Vorgehen könnte eine Koronarographie kürzer und sicherer machen, das Risiko einer zu tiefen Katheterpenetration in die Koronararterie, oder gar des Koronararterienverschlusses vermeiden helfen.

Für die nicht-invasive Schlagvolumenbestimmung nach der Methode von Wezler und Böger (43), braucht man außer der linksventrikulären Austreibungszeit und Pulswellenlaufzeit, auch den Aortenwurzeldurchmesser, der bisher nur annähernd aus Tabellen entnommen wurde.

Die Möglichkeit den Aortenwurzeldurchmesser zu bestimmen, gewinnt dank der raschen Entwicklung der Thorax- und Kardiochirurgie ebenfalls immer größere Bedeutung. Immer öfter werden körpereigene, krankhaft veränderte Aortenklappen durch verschiedene Kunstklappen und Bioprothesen (Schweineaortenklappen = Xenografts, menschliche Leichenaortenklappen = Homografts) ersetzt. Die operativen und postoperativen Probleme, die bei sehr schmalen Aortenwurzeln auftreten, sind schon lange bekannt (29, 33). Bei diesen Patienten muß eine modifizierte Operationsmethode benutzt werden. Dank der präoperativen Aortendurchmesserbestimmung könnte man bei solchen Patienten eine Vorinformation an den Chirurgen geben, damit er eine ausreichend kleine Ersatzklappe zur Verfügung hat.

Bei Patienten mit Aortenerweiterung oder einem Aneurysma der Aorta ascendens bietet die Echokardiographie auch neue diagnostische Möglichkeiten (28). Sie kann bei der Operationsindikation, der Wahl der Operationsmethode und der des richtigen Prothesentyps helfen.

FRAGESTELLUNG

Die folgenden Untersuchungen sollen die echokardiographisch gewonnenen Aortenwurzeldurchmesser mit den angiokardiographisch bestimmten Werten vergleichen. Daneben wird die Frage behandelt, in wie weit eine Korrelation des Aortenwurzeldurchmessers mit der Körperoberfläche, dem Geschlecht und dem Alter der Untersuchten besteht.

GESCHICHTE DER ECHOKARDIOGRAPHIE

Obwohl die Anwendung des Ultraschalls in der Medizin relativ neu ist, reicht seine technische Geschichte in das 19. Jahrhundert zurück, als Galton im Jahre 1883 die Ultraschallpfeife mit Schwingungen bis zu 25 000 Hz entwickelte. Im ersten Weltkrieg erfand der Franzose Langevin eine Methode zur Lenkung von Ultraschallwellen ins Wasser und beobachtete dabei, daß die vom Strahl getroffenen Fische getötet wurden. 1929 beschrieb Sokolow ein Ultraschallverfahren, das die Entdeckung von feinen Rissen in Metallkörpern ermöglichte. Ein wichtiger Fortschritt auf dem Gebiet der Ultraschallanwendung wurde im 2. Weltkrieg mit dem Einsatz des Schiff's-Sonar zur Aufspürung unterseeischer Objekte, vorwiegend feindlicher Unterseeboote, erzielt. Das Ende des 2. Weltkrieges bedeutete einen Aufschwung für die außermilitärisch nutzbaren Ultraschallverfahren. So war Keidel einer der ersten Forscher, die den Ultraschall zur Untersuchung des Herzens einsetzten. Er versuchte 1950 die durch Volumenschwankungen des Herzens auftretenden Ultraschall-Absorbtionsänderungen zur registrieren (26). Erste Anstrengungen die Reflexionen von Ultraschallimpulsen anzuwenden, wurden von Edler und Herz im Jahre 1953 unternommen. Ein damals auf dem Markt erhältliches, für die nichtdestruktive Materialtestung entwickeltes Ultrasonoskop wurde von ihnen für die Untersuchungs des Herzens benutzt (7) . Anfänglich konnten sie lediglich Strukturen der Rückwand des Herzens registrieren, waren aber nach einigen Modifikationen ihres Gerätes bald in der Lage, auch Echos des vorderen Mitralsegels abzuleiten, die sie jedoch fehlinterpretierten und der Hinterwand des linken Vorhofes zuordneten. Einige der gegenwärtig bekannten Echomuster wurden bereits von Edler beschrieben. Er war auch der erste, der eine eindeutige Änderung im Bewegungsspiel des vorderen Mitralsegels bei Mitralstenose feststellte. Etwa zur gleichen Zeit wurden von der Arbeitsgruppe um Effert in Deutschland die von Edler beschriebenen echokardiographischen Veränderungen bei Mitralstenose bestätigt;

der genannten Arbeitsgruppe gelang darüberhinaus erstmalig der echokardiographische Nachweis von Tumoren und großen Thromben im linken Vorhof (9).

Ausgehend von der Diagnostik des Perikardergusses wurde in den Vereinigten Staaten von Amerika, und hier insbesondere von Feigenbaum und Mitarbeitern, die Technik zur Messung der Hinterwanddicke und Innendurchmesser des linken Ventrikels, sowie des linksventrikulären Schlagvolumens entwickelt und mit der dadurch möglichen linksventrikulären Funktionsdiagnostik ein neues Kapitel der Echokardiographie begründet (12,13,31).

Ein wesentlicher Beitrag zur Entwicklung der Echokardiographie war die Beobachtung von Gramiak und Mitarbeitern, Echos innerhalb des Herzens durch intrakardiale Injektion von Indocyaningrün und Kochsalzlösung sichtbar zu machen. Die Anwendung solcher "Kontrastmittel" ermöglichte die positive Identifizierung vieler Herzstrukturen (21).

Die ersten Beschreibungen echokardiographischer Veränderungen bei hypertrophischer Subaortenstenose (37), Aorteninsuffizienz (44), Mitralklappenprolaps (5) stammen aus den Jahren zwischen 1965 und 1970. In diesem Zeitraum wurden auch die Ultraschall-Kriterien für die Indikation zur Mitralkommissurotomie erarbeitet (24).

Eine bedeutende Weiterentwicklung der Methode stellte die Einführung der zweidimensionalen Echokardiographie dar. Der von dem holländischen Ingenieur Bom entwickelte Multielement-Scanner wurde bald in der Kardiologie erfolgreich eingesetzt (3) und wird bis heute in der Kinderkardiologie angewandt. Die wegen seiner Größe

häufig nicht ausreichende präkordiale Ankoppelung ist sein wesentlicher Nachteil.

Für die Echt-Zeit-Schnittbilddarstellung des Herzens sind die neueren mechanischen und elektronischen Sektor-Scanner grundsätzlich besser geeignet, weil sie ähnlich wie der kleine M-mode Schallkopf.über den Interkostalräumen aufgesetzt werden können.

Obwohl die moderne Echt-Zeit-Schnittbildechokardiographie viele neue diagnostische Möglichkeiten, wie Bestimmung der Klappenöffnungsflächen oder Erkennung und Beurteilung linksventrikulärer Dyskinesien bietet, hat daß M-mode-Verfahren bis heute nur wenig von seiner praktischen Bedeutung verloren.

PHYSIK DES ULTRASCHALLS

Dem vom menschlichen Ohr wahrnehmbaren Frequenzspektrum zwischen 16 und 20 000 Hz schließt sich nach unten der Infra- und nach oben der Ultra-Schallbereich an. Der zuletzt genannte ist also durch mechanische Schwingungen mit einer Frequenz von mehr als 20 kHz gekennzeichnet. Schallerzeuger sind Kristalle, die durch Änderung ihrer Dimensionen unter elektrischer Wechselspannung Ultraschallwellen aussenden. Dieser "piezoelektrische Effekt" wurde im Jahre 1880 durch die Brüder Curie entdeckt. Umgekehrt können reflektierte Ultraschallwellen in dem selben Kristall Änderungen hervorrufen, die zu elektrischen Spannungen führen.

Das vom Sender ausgehende Schallbündel hat nur innerhalb eines von Schallfrequenz und Piezokristalldurchmesser abhängigen Nahfeldes die Form eines Zylinders, um sich im weiteren Verlauf kugelförmig zu erweitern. Die in ein Medium eintretende Schallenergie erfährt eine durch verschiedene Faktoren bedingte Abschwächung. So wird ein Teil in Wärme umgesetzt und absorbiert, ein anderer Teil geht als Streustrahlung verloren. Darüberhinaus wird der Ultraschall an Grenzflächen zwischen Medien unterschiedlicher akustischer Impedanz auch teilweise reflektiert.

Die benutzte Schallfrequenz bestimmt Eindringtiefe und Auflösungsvermögen des Ultraschallbündels. Niedrige Frequenzen führen zu großen Eindringtiefen, bedingen aber gleichzeitig ein geringes Auflösungsvermögen. Hohe Frequenzen zeigen dagegen eine bessere Auflösung, die Eindringtiefe ist aber gleichzeitig in Folge höherer Absorbtion und Streuung gering. Für die praktische Echokardiographie hat sich der Frequenzbereich zwischen 2 - 5 MHz als günstiger Kompromiß erwiesen.

TECHNISCHE VERFAHREN

Der piezoelektrische Wandler im Schallkopf wird vom Hochfrequenzgenerator, periodisch, etwa 1000 mal pro Sekunde mit kurzen elektrischen Impulsen angeregt (Abb. 1). Die erzeugten Ultraschallimpulse durchdringen die Brust des Patienten und werden an den Herzstrukturen teilweise reflektiert. Die reflektierten Schallwellen werden im gleichen Wandler empfanden und in elektrische Schwingungen umgewandelt. Nach Verstärkung und elektronischem Tiefenausgleich erzeugen sie eine Auslenkung eines Kathodenstrahles aus der horizontalen Zeitachse.

Es gibt drei Möglichkeiten zur Darstellung der reflektierten Schallimpluse auf dem Leuchtschirm des Oszillographen.

1. Beim sog. A-mode-Verfahren (Amplitude-Modulation) werden die Echos als senkrechte Linien dargestellt, deren Höhe proportional der Intensität des empfangenen Echos ist. Der Abstand des Echos entlang der X-Achse entspricht einmal der Entfernung der dargestellten Herzstrukturen vom Schallkopf, sowie ihrer Distanz untereinander.

2. Beim sog. B-mode-Verfahren (Brightness-Modulation)werden die Echos als Leuchtpunkte unterschiedlicher Helligkeit wiedergegeben, deren Intensität proportional der Echostärke ist.

3. Beim sog. M-mode-Verfahren (Time-Motion) wird die Bewegung der Lichtpunkte entlang der horizontalen Zeitachse als Kurve abgebildet (Abb. 2).

Das M-mode-Bild wird in modernen Echokardiografen auf ultravioletlicht-empfindlichem Papier simultan mit dem Elektrokardiogramm registriert.

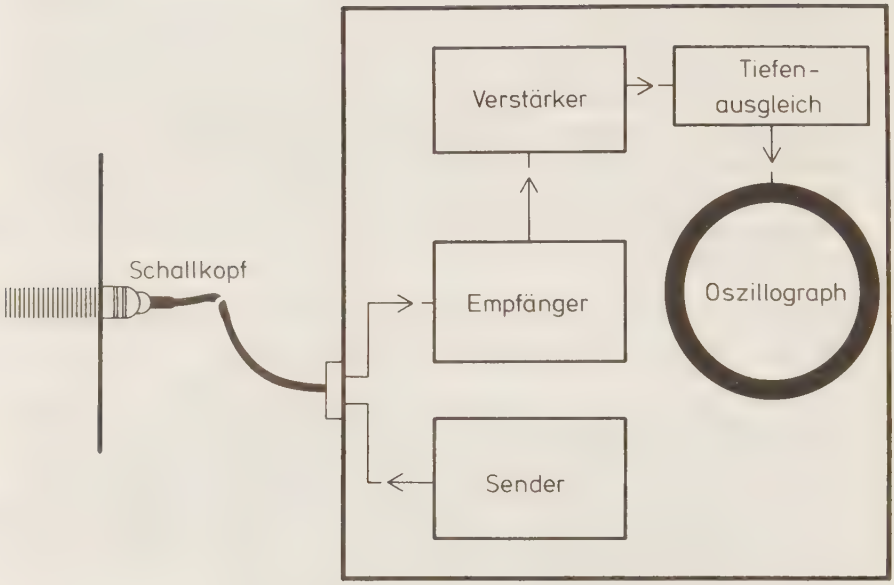

Abb 1 : Blockschema der Bestandteile eines Echokardiographen

LITERATURÜBERSICHT

Zu Beginn der echokardiographischen Untersuchung wird das vordere Mitralsegel als Orientierungspunkt für den weiteren Untersuchungsablauf angelotet. Vom Mitralklappenecho ausgehend kann durch eine leichte Drehung des Schallkopfes nach rechts und cranial die Aortenwurzel gefunden werden. Dabei gehen die Echos des vorderen Mitralsegels kontinuierlich über in Anteile des Mitralringes und in die der hinteren Aortenwand; des intraventrikulären Septums und in die der vorderen Aortenwand (8, 19).

Die Aortenwurzel wurde erstmalig in Form zweier paralleler Echos von Edler registriert, die sie für Äquivalente der linksventrikulären Ausflußbahn hielt (6). Auch Effert und Mitarbeiter deuteten diese von ihnen nach direkter, intraoperativer Schallkopf-Anlage an das Herz nachgewiesenen Echos in gleicher Weise (8).

Erst Gramiak und Shah konnten mittels Kontrastuntersuchung, d. h. supravalvulärer Injektion von Kochsalzlösung, die Aortenwurzel als Ursprung dieser Echos nachweisen. Von diesen Autoren wurden auch erstmalig Echos von normalen und stenotischen Aortenklappen beschrieben (19, 20).

Die bisher von verschiedenen Autoren mitgeteilten Normwerte des Aortendurchmessers sind recht unterschiedlich; so wurden Mittelwerte zwischen 27 und 34 mm beschrieben (4, 14,15, 16, 18, 19, 27, 38). Wegen der genannten, sicher auch meßtechnich bedingten Unterschiede wurden Vergleichsuntersuchungen mit angiographisch und intraoperativ gewonnenen Befunden durchgeführt (14, 15, 16, 17, 27, 34), deren Ergebnisse in der vorliegenden Studie später diskutiert werden sollen.

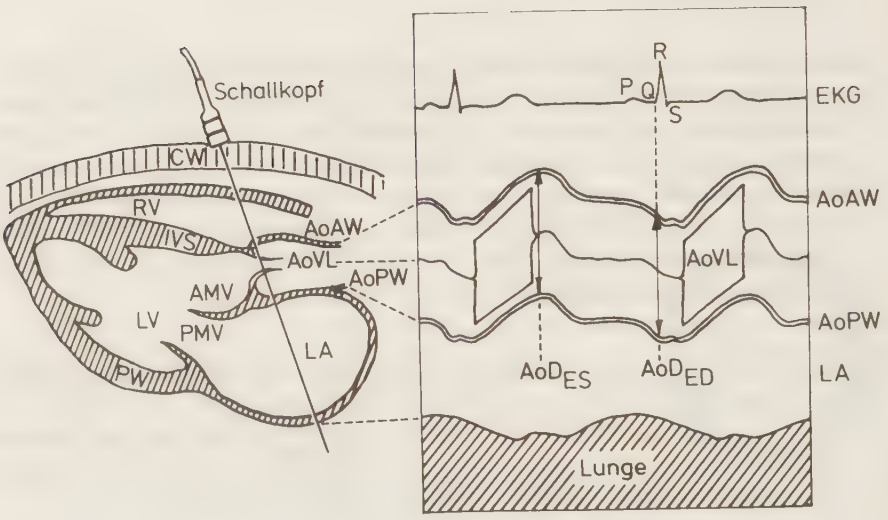

Abb. 2 : Schematische M-mode-Darstellung der Aortenwurzel

CW = Thoraxwand
RV = rechter Ventrikel
IVS = Ventikelseptum
LV = linker Ventrikel
PW = Hinterwand des linken Ventrikels
AMV = vorderes Mitralsegel
PMV = hinteres Mitralsegel
AoAW = vordere Aortenwand
AoPW = hintere Aortenwand
AoVL = Klappentaschen
LA = linker Vorhof

Echokardiographische Meßpunkte des Aortenwurzeldruchmessers in End-Systole (AoD_{ES}) und End-Diastole (AoD_{ED}).

Die Aortenwurzel erzeugt zwei sich parallel zueinander bewegende Echos (Abb. 2). In der Systole bewegt sich die Aorta ventralwärts, in der Diastole nach dorsal (19). Gramiak und Shah (19) bemerkten schon sehr früh, daß Patienten mit großem Schlagvolumen ausgeprägte systolisch-diastolische Aortenbewegungen zeigten. Pratt et al. wiesen daraufhin, daß die Bewegungsamplituden der Aortenhinterwand als direkter Parameter der linksventrikulären Funktion gelten kann; sie erzielten bei gesunden Probanden eine Korrelation von r = 0,78 der Bewegungsamplitude zum Schlagvolumenindex (32). Ähnliche Ergebnisse wurden im Rahmen einer neueren Studie erzielt (25). Diese Befunde dürfen jedoch nicht verallgemeinert werden. So zeigten Strunk et al. (39), sowie Adgün und Layton (1) anhand des Vergleiches angiographischer Befunde von Patienten mit AV-Block oder Vorhofflimmern, daß die Bewegung der hinteren Aortenwand nicht vom Schlagvolumen, sondern wesentlich von den Dimensionsänderungen des linken Vorhofes abhängt. Sie gingen dabei von der anatomischen Situation des liegenden Patienten aus, bei dem die hintere Vorhofwand gegen die Wirbelsäule gedrückt wird und daher Volumensänderungen des Vorhofes kaum folgen können; letzteres führt vor allem zu einer Auslenkung der Vorhofvorderwand, die sich auf die mit ihr verbundene Aortenhinterwand überträgt. Dem entspricht, daß sich echokardiographisch lediglich kleine Bewegungen der hinteren Vorhofwand beobachten lassen.

In einer zweiten Studie zeigten Strunk und Mitarbeiter eine neue Anwendungsmöglichkeit der Aortenhinterwandbewegungen auf. Ihre Untersuchungen ergaben eine Korrelation r = 0,86 zwischen dem von ihnen eingeführten Entleerungsindex des linken Vorhofes und der errechneten Öffnungsfläche stenosierter Mitralklappen (40). Im Rahmen jüngster Untersuchungen wurde versucht, das Aortenhinterwandbewegungsmuster zur Abschätzung des Lungenkapillardruckes bei Patienten ohne Mitralstenose nutzbar zu machen (41).

Während sich die Aortenwände echokardiographisch in fast allen Fällen leicht darstellen lassen, ist die Anlotung der Aortenklappen schwieriger. Sie gelingt auch bei entsprechender Übung nur in etwa 80% der Fälle (10). Die Taschen der Aortenklappe stellen sich beim Gesunden diastolisch als feiner Strich in der Mitte der Aortenwurzel dar. Mit Beginn der linksventrikulären Austreibungsphase führen die Taschen eine schnelle Öffnungsbewegung aus und legen sich der Aortenwand nahezu vollständig an. Das vorn dargestellte Echo entspricht der Tasche im rechts koronaren Sinus Valsalvae, das hintere der Taschenklappe im akoronaren Sinus. Die dritte, im links-koronaren Sinus sitzende Tasche ist nur selten als feiner Strick in der Aortenmitte systolisch darstellbar. Am Ende der Austreibungsphase schließt sich die Aortenklappe und die Taschen gehen in ihre Ausgangsstellung zurück (14,20).

Das "schachtelförmige " Bild der geöffneten Aortenklappe ist so charkteristisch, daß es praktisch mit keiner anderen Struktur des Herzens verwechselt werden kann.

Eine verminderte systolisch Taschenseparation, verdickte Klappentaschen und dichte Mehrfachechos im Bereich der Aortenwurzeln sind die wichtigsten diagnostischen Kriterien der valvulären Aortenstenose Gleichwohl wird die quantitative Beurteilung von Aortenvitien mit der M-mode-Echokardiographie von vielen Autoren in Frage gestellt (11,30). Insbesondere bei der angeborenen Aortenstenose ist dieses Verfahren von zweifelhaftem Wert, da auch bei schwerer valvulärer Verengung ein unauffälliges Aortenechokardiogramm resultieren kann (4). Mit Einführung der Schnittbild-Echokardiographie haben sich die Abschätzungsmöglichkeiten der valvulären Aortenstenose erheblich berbessert(23,42).

Nach wie vor problematisch ist die echokardiographische Diagnose einer Aorteninsuffizienz, obwohl das Flattern des vorderen Mitralsegels als indirektes Symptom schon seit Jahren bekannt ist (44).

PATIENTENGUT UND METHODIK

Untersucht wurden 49 Patienten im Alter zwischen 24 und 71 Jahren; es handelte sich um 12 Frauen und 37 Männer. Bei 16 Patienten wurde nach Koronarangiographie, Laevangiographie und Rechtsherzkatheter eine organische Herzerkrankung ausgeschlossen, bei 16 weiteren Patienten wurde im Rahmen der genannten Untersuchungen eine koronare Herzerkrankung gesichert. Weitere 6 Patienten litten an einer Kardiomyopathie, 4 an einem kombinierten Aortenvitium und 3 an einem kombinierten Mitralvitium. Ein Patient wies eine Koarktation der Aorta thoraco-abdominalis auf.

Die echokardiographische Untersuchung erfolgte innerhalb von 24 Stunden vor der Herzkatheteruntersuchung mit einem Siemens Echopan KS Ultraschallimpulsgerät. Der fokusierte, im Durchmesser 13 cm messende 2,52 MHz-Schallkopf wurde im 2. bis 4. Interkostalraum 1 bis 4 cm links-parasternal plaziert. Simultan mit dem M-mode-Echokardiogramm wurde die EKG-Ableitung II nach Einthoven mittels UV-Schreiber dokumentiert. Der Papiervorschub betrug 25 oder 50mm/sec. Das Aufsuchen der Aorta erfolgte mit leicht nach rechts und cranial gerichtetem Schallkopf. Um eine Standardisierung der Schallposition zu erreichen, wurde darauf geachtet, daß die Aortenklappentaschen innerhalb der Aortenwände sichtbar waren. Der Durchmesser der Aortenwurzel wurde nach der Empfehlung des Standardisierungskomitees für M-mode-Echokardiographie der Amerikanischen Gesellschaft für Echokardiographie (36), als der senkrechte Abstand zwischen der vorderen Begrenzung der vorderen Aortenwand und der vorderen Begrenzung der hinteren Aortenwand bestimmt. (Abb. 2)

Unter diesen Bedingungen geht die

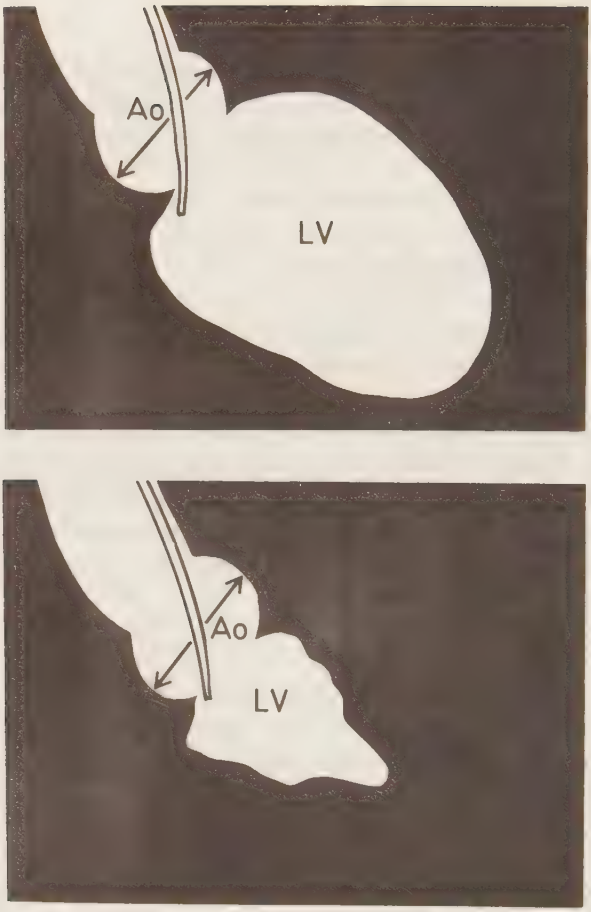

Abb. 3 : Angiographische Meßpunkte des Aortenwurzeldruchmessers (Ao) in End-Diastole (oben)und in End-Systole (unten). Ventrikulogramm in rechter Schrägprojektion (60 °). LV = linker Ventrikel

Wanddicke einmal mit in die Messung ein. Für jeden Patienten wurden Mittelwerte des aortalen Durchmessers in der End-Systole = $AoD_{Echo\ ES}$ (Schluß der Aortenklappe im Echokardiogramm) und in der End-Diastole= $AoD_{Echo\ ED}$ (Beginn des QRS-Komplexes im EKG) aus 3 bis 5 Herzzyklen errechnet. Danach wurde ein Mittelwert aus den beiden genannten Parametern als echokardiographischer Aortenwurzeldurchmesser=AoD_{Echo} bestimmt.

Für die angiographische Bestimmung wurden Ventrikulogramme in rechter Schrägprojektion (60 Grad) benutzt. Die kinematographische Aufzeichnung erfolgte mit einer an eine Gigantos-Röntgenanlage gekoppelte Arriflex-Kamera mit einer Laufgeschwindigkeit von 50 Bildern/sec. Für jeden Patienten wurde ein individueller, die verschiedenen Höhen der Kameraeinstellung eliminierender Vergrößerungsfaktor bestimmt, in dem das Ausmaß der Kathetertischverschiebung festgelegt wurde, das nötig war,um die im linken Ventrikel positionierte Katheterspitze an den oberen und unteren Bildrand zu plazieren. Dieser Vergrößerungsfaktor ergibt sich wie folgt:

$$\text{Vergrößerungsfaktor} = \frac{\text{Tischverschiebung in cm}}{\text{Bildbreite in cm}}$$

Für die Messung des Aortenwurzeldurchmessers wurde das kontrastreichste Ventrikulogramm in End-Systole und End-Diastole benutzt (Abb 3). Es wurde der größte Abstand zwischen beiden Aortenwurzelbegrenzungen etwas oberhalb der Klappentaschen bestimmt und mit dem Vergrößerungs-Faktor multipliziert ($AoD_{Angio\ ES}$ bzw. $AoD_{Angio\ ED}$). Der angiographische Aortenwurzeldurchmesser AoD_{Angio} wurde als Mittelwert von end-systolischem und end-diastolischem Wert berechnet.

Die statistische Datenauswertung erfolgte mit einem programmierbaren Rechner vom Typ HEWLETT Packard 9810 A.

ERGEBNISSE

Die technisch befriedigende echokardiographische Aortendarstellung mit wenigstens diastolisch sichtbarer Klappe gelang bei allen 49 Patienten (100 %). Die "schachtelförmige" systolische Klappenbewegung wurde wenigstens partiell bei 38 (77,6 %) und vollständig bei 21 (42,9 %) der untersuchten Gruppen registriert.

Tabelle 1 zeigt die gewonnenen Mittelwerte und Standardabweichungen, sowie die Streubreite durch Angabe der Minimal- und Maximalwerte. Die Unterschiede zwischen enddiastolischem $AoD_{Echo\ ED}$ und endsystolischem $AoD_{Echo\ ES}$ Aortenwurzeldurchmesser waren sowohl echokardiographisch als auch angiographisch ($AoD_{Angio\ ED}$ bzw. $AoD_{Angio\ ES}$)nicht signifikant. Daher wurden bei weiteren Überlegungen nur die Mittelwerte aus beiden Bestimmungsmethoden (AoD_{Echo} bzw. AoD_{Angio}) berücksichtigt. Zwischen echokardiographisch und angiographisch gemessenem Aortendurchmesser besteht eine positive, hochsignifikante Korrelation mit einem Koeffizient von 0,91. Die Gruppierung der Einzelwerte ist aus Abb. 4 zu entnehmen.

Obwohl das Gesamtkollektiv diagnostisch nicht homogen war und nur 49 Personen umfaßte, wurde versucht, die Abhängigkeit der Aortenwurzellumenweite von Geschlecht, Körperoberfläche und Alter zu prüfen.

Bezüglich der Aortendurchmesser (AoD_{Echo}) weiblicher und männlicher Patienten wurde ein signifikanter Unterschied gefunden ($p < 0,05$); dabei war der Durchmesser im Durchschnitt bei Männern erwartungsgemäß größer. Werden die Ergebnisse aber auf einen m^2 Körperoberfläche bezogen (AoD_{Echo} Index) sind die Mittelwerte beider Geschlechter fast gleich, wie aus der Tab. 1 hervorgeht.

Tabelle 1

	MÄNNER n = 37		FRAUEN n = 12	GESAMT-KOLLEKTIV	EINHEIT
Alter	48,7 ± 8,5 (24 - 62)	o	53,1 ± 8,0 (42 - 71)	49,8 ± 8,6 (24 - 71)	Jahre
Körperoberfl.	1,89 ± 0,13 (1,64-2,14)	**	1,75 ± 0,15 (1,55-1,98)	1,86 ± 0,14 (1,55-2,14)	m^2
AoD_{Echo} ED	33,4 ± 4,3 (24,1-42.0)		30,8 ± 3,8 (20,2-35,1)	32,8 ± 4,3 (20,2-42,0)	mm
AoD_{Echo} ES	33,4 ± 4,3 (25,4-42,5)		31,1 ± 3,8 (20,6-35,7)	o 32,9 ± 4,3 (20,6-42,5)	mm
AoD_{Angio} ED	33,4 ± 4,7 (23,0-45,1)		31.0 ± 3,5 (23,5-37,5)	32,8 ± 4,5 (23,0-45,1)	mm
AoD_{Angio} ES	33,3 ± 4,9 (21,8-41,9)		30,3 ± 3,6 (22,3-37,2)	o 32,6 ± 4,8 (21,8-41,9)	mm
AoD Echo	33,4 ± 4,2 (24,7-42,4)	*	31,0 ± 3,8 (20,4-35,3)	32,8 ± 4,2 (20,4-42,2)	mm
AoD Angio	33,4 ± 4,7 (22,4-43,5)		30,6 ± 3,4 (22,9-36,2)	o 32,7 ± 4,6 (22,4-43,5)	mm
AoD Index (Echo)	17,8 ± 2,4 (12,7-22,7)	o	17,7 ± 2,1 (13,2-22,5)	17,8 ± 2,3 (12,7-22,7)	mm/m^2 K.O.
AoD Index (Angio)	17,7 ± 2,6 (11,1-23,4)		17,5 ± 2,2 (14,8-22,5)	o 17,7 ± 2,5 (11,1-23,4)	mm/m^2 K.O.

o = nicht signifikant

* = $p < 0,05$

** = $p < 0,005$

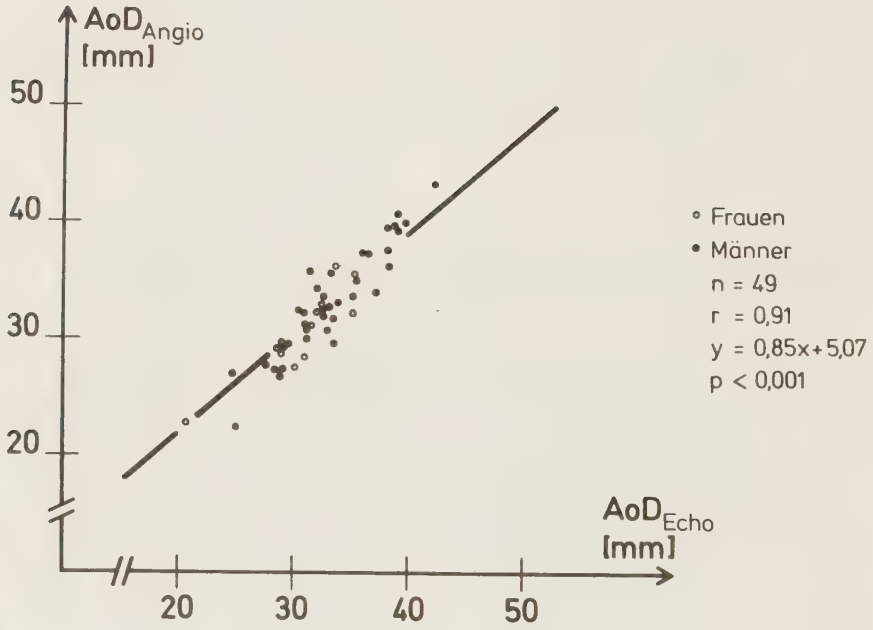

Abb. 4 : Korrelation zwichen angiographisch (AoD_{Angio}) und echokardiographisch (AoD_{Echo}) ermitteltem Aortenwurzeldurchmesser.

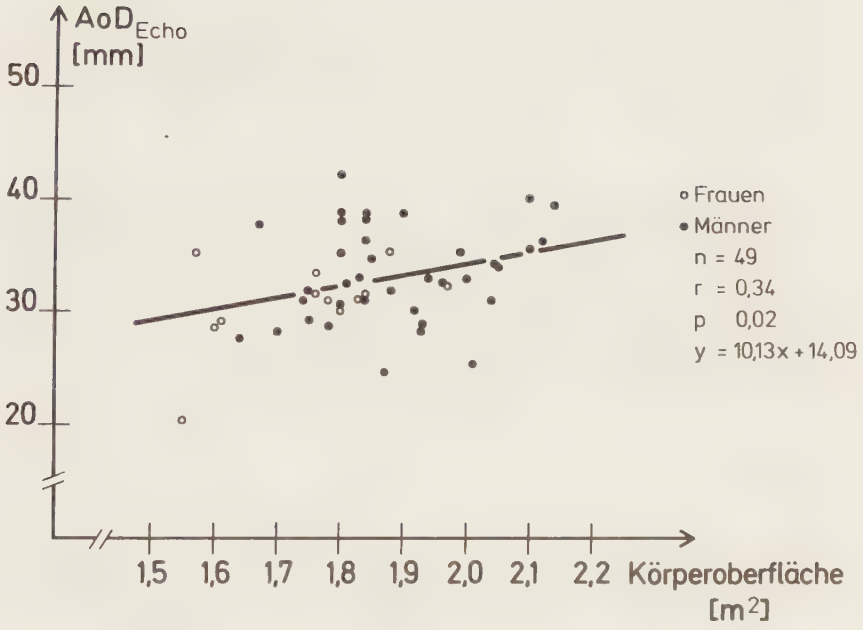

Abb. 5 : Beziehung zwischen Körperoberfläche und echokardiographisch bestimmten Aortendruchmesser (AoD_{Echo}).

In Abb. 5 ist der Zusammenhang zwischen der aus Körpergewicht und Körpergröße ermittelten Körperoberfläche (Formel nach Dubois) und dem echokardiographisch bestimmten Aortendurchmesser (AoD_{Echo}) dargestellt. Es besteht eine schwach-positive und trotz großer Streuung der Einzelwerte signifikante Korrelation mit einem Koeffizienten von 0,34.

Das Verhältnis zwischen Alter und Aortendurchmesserindex (AoD_{Echo} Index) ist in der Abb. 6 wiedergegeben. Es zeigt sich ein mit zunehmendem Alter anstiegender Aortendurchmesserindex. Trotz ebenfalls großer Streuung der Einzelwerte besteht auch hier eine schwach-positive signifikante Korrelation von r=0,37. Um die Indexzunahme deutlicher zu machen, wurde in Tab. 2 das Gesamtkollektiv in 3 Altersgruppen aufgeteilt.

Tabelle 2

Gruppe	Alter (Jahre)	n	AoD_{Echo} Index $\bar{x} \pm SD$ (mm/m² K.O.)	Bereich (mm/m² K.O.)
I	$\leqslant 40$	6	15,3 ± 1,2	13,2 - 16,2
II	41-50	19	17,9 ± 1,8	13,2 - 21,3
III	$\geqslant 51$	24	18,2 ± 2,5	15.0 - 22,7

Der Anstieg des Aortendurchmesserindex scheint nicht kontinuierliche, sondern sprunghaft zu sein. Diese Tendenz wird beim Signifikanzvergleich der Unterschiede in Abb. 7 ebenfalls deutlich.

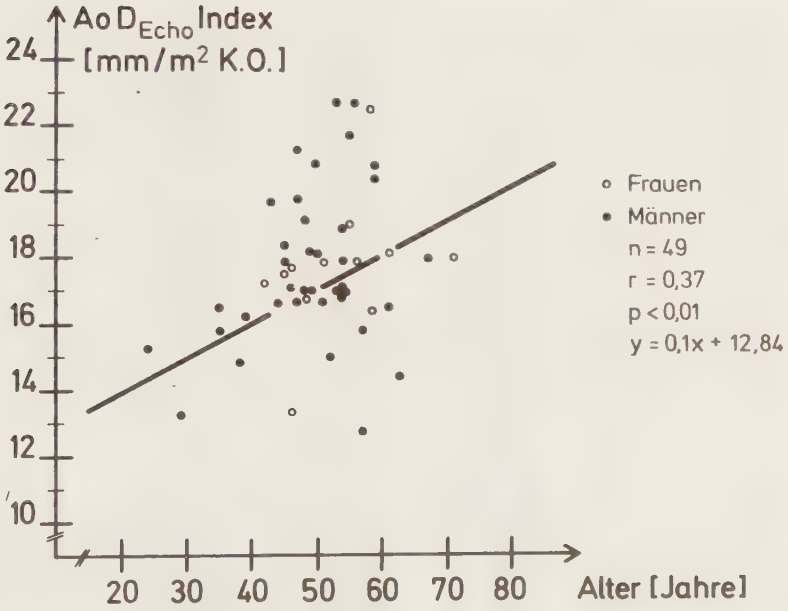

Abb. 6 : Abhängigkeit des echokardiographischen Aortenwurzeldurchmesserindex (AoD_{Echo} Index) vom Alter.

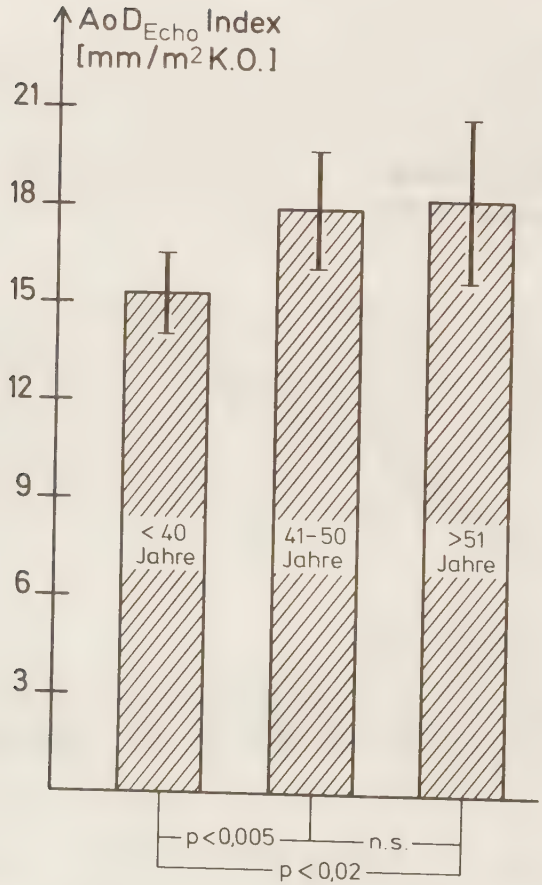

Abb. 7 : Mittelwerte des Aortenwurzeldurchmesserindex (AoD Echo Index) bei Patienten verschiedener Altersgruppen. Signifikanzen der Unterschiede (n. s. = nicht signifikant).

DISKUSSION

a. Methodische Probleme

Obwohl die Mehrzahl der untersuchten Patienten älter als 40 Jahre waren und die echokardiographische Untersuchung oft in Folge Lungenemphysems oder Adipositas erschwert ist, ließ sich die Aortenwurzel mit wenigstens diastolisch sichtbaren Klappentaschen bei allen Personen registrieren. Diese Tatsache belegt die relativ einfache Darstellung und leichte echokardiographie Zugänglichkeit der Aortenwurzel. Die Anlotung der Klappentaschen ermöglicht eine gewisse Standardisierung der Aortenwurzelmessung und schützt vor möglichen Interpretationsfehlern, die sich aus dem grundsätzlichen gleichen Bewegungsmuster von in der linksventrikulären Ausflußbahn liegendem oberen Teil des intraventrikulärem Septums und des Mitralringes ergeben könnten (19,22).

Die im Literaturvergleich (10) weniger oft vollständig dargestellte systolische Klappentaschenbewegung im Rahmen dieser Studie dürfte zum einen durch die vermutlich geringere Erfahrunng des Untersuchers und zum anderen durch das höhere Patientendurchschnittsalter bedingt sein.

Eine wesentliche Bedeutung im Hinblick auf die relativ großen Unterschiede der Aortenwurzeldurchmessermittelwerte in bisherigen Studien ist der jeweils angewandten Bestimmungsmethode beizumessen. So wurde der Aortenwurzeldruchmesser als

a) Abstand zwischen den äußeren Begrenzungen beider Wandechos - Gramiak und Shah , 1970 (20), Solinger et al. 1973 (38), Moothart et al., 1975 (28)

b) Distanz zwischen den inneren Begrenzungen beider Wandechos - Goldberg, 1971 (18), Francis et al. , 1975 (15)

c) Entfernung zwischen der vorderen Begrenzung des vorderen Wandechos und der vorderen Begrenzung des hinteren Wandechos - Furakawa et al., 1976 (16).

gemessen. In anderen Studien fehlt eine genaue Beschreibung der angewandten Bestimmungsmethode (14, 17, 27, 34).

Im Rahmen früherer Studien spielt das Problem der Meßpunkte kaum eine Rolle, da die Aortenwand in den damals fotografisch dokumentierten Echokardiogrammen nur als Einfachecho sichtbar war (18, 20). Durch das in Folge weiterentwickelter Geräte und Registrierung mittels UV-empfindlichem Papier bessere Auflösungsvermögen mit Darstellung der Aortenwand als zwei oder mehrere Echos machte später die exakte Festlegung von Meßpunkten notwendig.

Die von Francis et al. 1975 (15) angegebene Meßmethode zwischen den inneren Begrenzungen beider Wandechos entspricht der angiokardiographischen Bestimmungsmethode scheinbar am besten, da Kontrastmitteluntersuchungen immer nur den Binnenraum einer Struktur, hier der Aortenwurzel, abbilden. Auf der anderen Seite ist die Wanddicke im Vergleich zum Aortendurchmesser sehr klein und daher in Anlehnung an die genannten Autoren nur von untergeordneter Bedeutung.

Zu berücksichtigen ist dagegen, daß die Breite des Wandechos von der Dauer des Ultraschallimpulses, sowie dem durch die Schallfrequenz vorgegebenen Auflösungsvermögen abhängig ist. Somit ergeben sich durch die nicht immer gleiche Impulsdauer und Schallfrequenz in den zur Verfügung stehenden Geräten entsprechende Wandbreitendifferenzen. Letztere können durch die von Furukawa et al. (16) angegebenen Aortenwurzeldurchmesserbestimmung als dem Abstand zwischen der vorderen Begrenzung der vorderen Wandechos und der vorderen Begrenzung des hinteren Wandechos beseitigt werden.

Nach Bekanntgabe von Meßempfehlungen durch das Standardisierungskomitee für M-mode-Echokardiographie der Amerikanischen Gesellschaft für Echokardiographie (36) wurde die im Rahmen dieser Studie benutzte Meßmethode nach dem dort empfohlenen Modus ausgerichtet. Bei den entsprechend erstellten Werten des Aortenwurzeldurchmessers als Entfernung zwischen der jeweils vorderen Begrenzung des vorderen und hinteren Wandechos geht die Wanddicke einmal mit ein. Der Meßbetrag entspricht daher weder dem inneren, noch dem äußeren Aortenwurzeldurchmesser, sondern setzt sich aus Innendurchmesser und einfacher Wanddicke zusammen, wobei letztere wegen ihres geringfügigen Wertes praktisch vernachlässigt werden kann.

b) Ergebnisse

Die nur von Gramiak und Shah 1970 (20) beschriebenen Unterschiede zwischen diastolischem und endsystolischem Aortendurchmesser sind

vermutlich auf eine zu sehr caudalwärts vorgenommene Schallkopfplazierung zurückzuführen. In Übereinstimmung mit anderen, späteren Studien (15, 18) wurden auch in dieser Arbeit keine diesbezüglich signifikanten Unterschiede gefunden (Tab. 1).

Tabelle 3 zeigt die eigenen Daten betreffend Patientenzahl Mittelwerte der echokardiographisch bestimmten Aortendurchmesser, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerte, sowie die Meßmethode (siehe Seite 23 ff) im Literaturvergleich.

Tabelle 3

	n	$\bar{x}$ (mm)	SD (mm)	Bereich (mm)	Meßmeth.
Gramiak und Shah (1970)	42	33,7	4,4		a
Feizi et al. (1974)	70	23,0	?	19-25	?
Francis et al. (1975)	159	23,7	?	17-33	b
Chang (1976)	121	27,0	?	20-37	b
Furukawa et al. (1976)	194	29,0	?	15-40	c
eigene Befunde	49	32,8	4,2	20,4-42,2	c

Obige Tabelle läßt die angesprochenen meßmethodenabhängigen Mittelwertdifferenzen deutlich erkennen; so ergeben sich bei Messung des Außendurchmessers (a) die größten, bei Bestimmung des Innendurchmessers (b) die kleinsten Mittelwerte. Die in diesem Sinne durch Messung des Innendurchmessers und der einfachen Wanddicke (c) einen Kompromiß darstellende Bestimmung ergibt Mittelwerte, die zwischen den mit den vorgenannten Methoden erzielten liegen. Dabei dürfte der gegenüber Furukawa et al. relativ gro mittlere Aortendurchmesser in dieser Studie Folge der Kollektivzusammensetzung sein, da mehr als die Hälfte der von uns Untersuchten

herzkrank waren, während die in der Literatur mitgeteilten Ergebnisse nahezu ausschließlich an herzgesunden Probanden gewonnen wurden.

Im Vergleich der Ergebnisse von echokardiographischer und angiographischer Bestimmung zeigt sich eine hochsignfikante positive Korrelation mit einem Koeffizienten von 0,91; ähnliche Befunde werden in anderen Studien mitgeteilt, so 1974 von Lundstrom und Mortensson, mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,98 für Kinder (27), und für Erwachsene von Furukawa et al. 1976 mit einem Koeffizienten von 0,94 (16). Diese gute Übereinstimmung zeigt, daß der echokardiographisch bestimmte Aortendurchmesser als genauer und zuverlässiger,nicht-invasiv-zu-erhaltender Parameter gelten kann.

Da das von uns untersuchte Patientenkollektiv zum einen relativ klein und zum anderen sowohl Gesunde als auch Kranke umfaßt , läßt sich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen der Aortenwurzellumenweite und dem Geschlecht, der Körperoberfläche und dem Alter nur teilweise beantworten.

Männer haben,wie nicht anders zu erwarten,einen im Durchschnitt größeren Aortenwurzeldurchmesser. Bezogen auf einen m^2 Körperoberfläche fand sich in Übereinstimmung mit Furukawa et al. (16) kein signifikanter geschlechtsabhängiger Unterschied. Demgegenüber stehen die von Francis et al. (15) mitgeteilten Ergebnisse, die bei Männern einen hochsignifikant größeren Aortendurchmesserindex als bei Frauen zeigen.

Bei dem in Abhängigkeit vom Lebensalter zunehmendem Aortenwurzeldurchmesserindex läßt sich ein besonders sprunghafter Anstieg

zwischen der Gruppe unter 40 Jahren und der zwischen 41 und 50 Jahren beobachten, wie aus der Abbildung 7 zu entnehmen ist. Dieses Verhalten beruht wahrscheinlich auf mehreren Faktoren, so z. B. auf dem Manifestwerden von Hypertonie und Arteriosklerose in diesem Lebensabschnitt.

Im Hinblick auf eine fundiertere Stellungnahme zu den hier wegen des relativ kleinen Kollektives nur unzureichend beantworteten Fragen,sind Untersuchungen an einer größeren Gruppe gesunder Probanden notwendig.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Die Echokardiographie ist eine wertvolle, nicht invasive und zudem leicht praktikable Methode, die eine zuverlässige Beurteilung der Aortenwurzel erlaubt.

2. Echokardiographisch ermittelte Veränderungen des Aortenwurzeldurchmessers korrelieren gut mit ihren angiographischen Äquivalenten.

3. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen enddiastolischem und endsystolischem Aortenwurzeldurchmesser.

4. Es besteht eine schwache signifikante Korrelation des Aortenwurzeldurchmessers mit der Körperoberfläche.

5. Die bei Männern weiteren Aortenwurzeln sind die Folge ihrer gegenüber Frauen größeren Körperoberfläche.

6. Der Aortendurchmesserindex nimmt in Abhängigkeit vom Lebensalter zu; dabei zeigt sich ein sprunghafter Antieg nach dem 40. Lebensjahr.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. Akgün, G., Layton, C.:
Aortic root and left atrial wall motion.
An echocardiographic study.
Brit. Heart J., 39, 1082, 1977

2. Biamino, G., Wessel, H.J., Schlag, W., Schroeder,R.:
Echocardiographic pattern of motion of the aortic root as a correlate of left atrial volume changes.
Amer. Heart J. 100, 191, 1980

3. Bom, N., Lancee, C.T., Van Zwieten, G., Kloster, F.E., Roelandt, J.:
Multiscan echocardiography. I Technical description.
Circulation 48, 1066, 1973

4. Chang, S.:
M-mode echocardiographic techniques and pattern recognition.
Ed: Lea & Febiger, Philadelphia, 60, 1976

5. Dillon, J.C., Haine, C.L., Chang, S., Feigenbaum, H.:
Use of echocardiography in patients with prolapsed mitral valve.
Amer. J. Cardiol. , 26, 630, 1970

6. Edler, I.:
Atrioventricular valve motility in the living human heart recorded by ultrasound.
Acta Med. Scan. Suppl. 370, 85, 1961

7. Edler, I., Hertz, C.H.:
Use of ultrasonic reflectoscope for continous recording of movements of heart walls.
Kung. Fysiograf. Sallsk. Lund. Forhandl. 24, 40, 1954

8. Effert, S., Bleifeld, W., Deupmann, F.J., Karitsiotis, J.:
Diagnostic value of ultrasonic cardiography.
Brit. J. Radiol. 37, 920, 1964

9. Effert, S., Domanig, E.:
Diagnostik intraaufrikulärer Tumoren und grosser Thromben mit dem Ultraschallverfahren.
Dtsch. Med. Wschr., 84, 6, 1959

10. Effert, S., Hanrath, P., Bleifeld, W.:
Echokardiographie
Ed: Springer-Verlag, Berlin, 42, 1979

11. Feigenbaum, H.:
Echocardiography
Ed: Lea & Febiger, Philadelphia, 141, 215, 1976

12. Feigenbaum, H., Popp, R.L., Chip, J.N., Haine, C.L.:
Left ventricular wall thickness measured by ultrasound.
Arch. Intern. Med., 121, 391, 1968

13. Feigenbaum, H., Wolfe, S.B., Popp, R.L., Haine, C.L., Dodge, H.T.:
Correlation of ultrasound with angiocardiography in measuring left ventricular diastolic volume.
Amer. J. Cardiol. 23, 111, 1969

14. Feizi, O., Symons, C., Yacoub, M.:
Echocardiography of the aortic valve. I Studies of normal aortic valve, aortic stenosis, aortic regurgitation and mixed aortic valve disease.
Brit. Heart J., 36, 341, 1974

15. Francis, G.S., Hagan, A.D., Oury, J., O´Rourke, R.A.:
Accuracy of echocardiography for assessing aortic root diameter.
Brit. Heart J., 37, 376, 1975

16. Furukawa, K., Yoshikawa, J., Tanaka, K., Tanaka, Ch., Kawai, S., Takeuchi, K., Shiota, K.:
Echocardiographic measurement of aortic root diameter.
Jap. Heart J., 17, 465, 1976

17. Gehrke, J., Maldonaldo, J., Goh, V., Leeman, S.:
Neue echographische Beurteilungsmöglichkeit der Aortenwurzel: Hämodynamische Zusammenhänge und klinische Bedeutung.
Z. Kardiol., Suppl. 2, 47, 1975

18. Goldberg, B.B.:
Ultrasonic measurement of the aortic arch, rigth pulmonary artery and left atrium.
Radiology, 101, 383, 1971

19. Gramiak, R., Shah, P.M.:
Echocardiography of the aortic root.
Invest. Radiol., 3, 356, 1968

20. Gramiak, R., Shah, P.M.:
Echocardiography of the normal and diseased aortic valve.
Radiology, 96, 1, 1970

21. Gramiak, R., Shah, P.M., Kramer, D.H.:
Ultrasound cardiography: Contrast studies in anatomy and function.
Radiology, 92, 939, 1969

22. Hagan, A.D., Francis, G.S., Sahn, D.J., Karliner, J.S., Friedman, W.F., O´Rourke, R.A.:
Ultrasound evaluation of systolic anterior septal motion in patients with and without right ventricular volume overload.
Circulation, 50, 248, 1974

23. Hurwitz, R.A., Weyman, A.B., Feigenbaum, H., Girod, D.A., Dillon, J.C.:
Cross-sectional echocardiographic assessement of severity of aortic stenosis in children.
Amer. J. Cardiol., 37, 144, 1976

24. Joyner, C.R., Reid, J.M.:
Ultrasound cardiogram in the selection of patients for mitral valve surgery.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 118, 512, 1965

25. Kasper, W., Meinertz, T., Heppert, V., Kersting,F.:
Die Bewegung der Aortenhinterwand im M-mode-Echokardiogramm: Ein Parameter der linksventrikulären Funktion.
Z. Kardiol. 69, 573, 1980

26. Keidel, W.D.:
Über eine neue Methode zur Registrierung der Volumen - änderungen des Herzens am Menschen.
Z. Kreislaufforschg. 39, 257, 1950

27. Lundstrom, N.R., Mortensson, W.:
Clinical applications of echocardiography in infants and children. II Estimation of aortic root diameter and left atrial size. A comparison between echocardiography and angiocardiography.
Acta Paediat. Scand. 63, 33, 1974

28. Moothart, R.W., Spangler, R.D., Blount, S.G.;
Echocardiography in aortic root dissection and dilatation.
Amer. J. Cardiol. 36, 11, 1975

29. Najafi, H., Ostermiller, W.E., Javid, H., Dye, W.S., Hunter J.A., Julian, O.C.:
Narrow aortic root complicating aortic valve replacement.
Arch. Surg., Chicago, 99, 690, 1969

30. Nanda, N.C., Gramiak, R.:
Clinical echocardiography
Ed: The C. V. Mosby Company, Saint Louis 160, 1978

31. Popp, R.L., Wolfe, S.B., Hirata, T., Feigenbaum, H.:
Estimation of right and left ventricular size by ultrasound. A study of the echoes from the interventricular septum.
Amer. J. Cardiol. 24, 523, 1969

32. Pratt, R.C., Parisi, A.F., Harrington, J.J., Sasahara. A.A.:
The influence of left ventricular stroke volume on aortic root motion. An echocardiographiy study.
Circulation 53, 947, 1976

33. Quattlebaum, F.W., Kalke, B., Edwards, J.E., Lillehei, C.W.:
Obstruction of the aorta by prosthetic aortic valve.
J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 55, 231, 1968

34. Reeves, W., Ettinger, U., Nanda, N.C., Gramiak, R., De Weese, J.A.:
Assessement of aortic prosthesis size and valve calcification by echocardiography.
Clin. Res. 24, 237A,1976

35. Reeves, W. , Nanda, N.C., Gramiak, R.:
Relation of aortic valve closure to aortic root motion.
Clin. Res. 25, 248 A, 1977

36. Sahn D.J., De Maria A., Kisslo, J., Weyman, A.:
The committee on M-mode standarisation of the american society of echocardiography.
Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography: results of a survey of echocardiographis measurements.
Circulation 58, 1972, 1978

37. Shah, P.M., Gramiak, R., Kramer, D.H.:
Ultrasound localisation of left ventricular outflow obstruction in hypertrophic obstructive cardiomyopathy.
Circulation 40, 3, 1969

38. Solinger, R., Elbl, F., Minhas, K.:
Echocardiography in the normal neonate.
Circulation 47, 108, 1973

39. Strunk, B.L., Fitzgerald, J.W., Lipton, M., Popp, R.L., Barry, W.H.:
The posterior aortic wall echocardiogram. Its relationship to left atrial volume change.
Circulation 54, 744, 1976

40. Strunk, B.L., London, E.J., Fitzgerald, J., Popp, R.L., Barry, W.H.:
The assessement of mitral stenosis and prosthetic mitral valve obstruction, using the posterior aortic wall echocardiogram.
Circulation 55, 885, 1977

41. Wasserman, A.G., Meyer, J.F., Ross, A.M.:
The relationship of pulmonary atery wedge pressure to the posterior aortic wall echocardiogram in patients free of obstructive mitral valve disease.
Amer. Heart J. 100, 500, 1980

42. Weyman, A.E., Feigenbaum, H., Dillon, J.C., Chang, S., Hurwitz, R.A., Girod, D.A.:
Cross-sectional echocardiography in assessing the severity of valvular aortic stenosis.
Circulation 52, 828, 1975

43. Wezler, K., Böger, A.:
Die Begrenzung des arteriellen Windkessels beim Menschen.
Z. Kreislaufforschg. 29, 391, 1937

44. Winsberg, F., Gabor, G.E., Hernberg, J.G.:
Fluttering of the mitral valve in aortic insufficiency.
Circulation 41, 225, 1970

Herrn Oberarzt Professor Dr. med. J. Walter danke ich aufrichtig für seine fachliche und vor allem menschliche Betreuung, sowie insbesondere auch für seine ständige, freundliche Bereitschaft, bei der Lösung meiner spezifischen Probleme zu helfen.

Herrn Professor Dr. med. H. Franke danke ich herzlich für die Übernahme des Korreferates und die Möglichkeit in seiner Klinik hospitieren zu dürfen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. J. Ströder, der mir durch sein persönliches Engagement und seine wohlwollende Vermittlung die Möglichkeit des Aufenthaltes in Würzburg bot, und damit die Voraussetzung für einen erfolgreichen Abschluß dieser Arbeit schuf.

Herrn Dr. med. K.H. Wiese danke ich für die anregende Diskussion und seiner Hilfe bei der Formulierung des deutschen Textes.

L E B E N S L A U F

Am 16. Juni 1950 wurde ich als Sohn des Bildhauers und Dozenten an der Kunstakademie in Kraków Paulin Wojtyna und seiner Frau Wanda, geborene Wróbel in Kraków, Polen geboren. Ich habe einen jüngeren Bruder.

Im September 1957 trat ich in die Grundschule in Kraków-Nowa Huta ein, die ich bis zur 7. Klasse besuchte. Danach wechselte ich auf das XII. Gymnasium in Kraków-Nowa Huta über, wo ich im Juni 1968 die Reifeprüfung bestand.

Im Oktober 1968 begann ich mein Medizinstudium an der Medizinakademie M.Kopernik in Kraków. Im Juni 1975 beendete ich mein Studium und erhielt das Arzt-Diplom. Nach Absolvierung der Medizinalassistentenzeit arbeitete ich vorübergehend an dem Psychiatrischen Landeskrankenhaus in Kraków. Seit Dezember 1976 bin ich wissenschaftlicher Assistent an der Medizinischen Akademie in Kraków und arbeitete zunächst an der I. Kardiologischen Klinik des Kardiologischen Institutes.

1979 legte ich im Rahmen meiner Ausbildung im Spezialfach Innere Medizin die Prüfung nach der ersten Ausbildungsstufe ab und arbeite seither als fortgeschrittener wissenschaftlicher Assistent an der gleichen Klinik

1975 heiratete ich die Ärztin Teresa Nowak, 1976 wurde unsere Tochter Igna geboren.

Dr. Karol Wojtyła